



Anderson Felipe Kleinpaul

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA EXTENSOMETRIA DA
SUSPENSÃO DE UM VEÍCULO FÓRMULA SAE**

Horizontina-RS

2022

Anderson Felipe Kleinpaul

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA EXTENSOMETRIA DA
SUSPENSÃO DE UM VEÍCULO FÓRMULA SAE**

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a o Trabalho Final de Curso na Engenharia de Controle e Automação da Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Rodrigo Bastos

Horizontina-RS

2022

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

**“Desenvolvimento de um sistema para extensometria da suspensão de um
veículo Fórmula SAE”**

**Elaborado por:
Anderson Felipe Kleinpaul**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Controle e Automação

Aprovado em: 06/12/2022
Pela Comissão Examinadora

Prof. Me. Rodrigo Bastos
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Prof. Me Douglas de Castro Karnikowski
FAHOR – Faculdade Horizontina

Prof. Dr. Rafael Luciano Dalcin
FAHOR – Faculdade Horizontina

RESUMO

Um dos principais problemas envolvidos em um projeto de um carro é a falta de dados envolvendo a suspensão, pois é a região mais próxima ao chão, sendo a suspensão a entrada de cargas para o restante do chassi, principalmente de esforços verticais. Esse estudo tem como objetivo, desenvolver um método de trabalho, para buscar os resultados de maneira ágil e com qualidade no dado. O uso de extensômetros aplicados na barra de suspensão é uma maneira de mensurar os esforços durante a pilotagem do veículo, para possibilitar a leitura dos dados foi utilizado um arduino ATmega. Os resultados do teste esperados são os esforços verticais que a suspensão do veículo FAHOR E-Racing está exposto, para obter os dados de maneira adequada, foi simulado uma pista de teste pensando na competição.

Palavras-chave: Arduino. Suspensão. Esforços. Chassis. Extensômetros. Dados.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Braço da suspensão.....	5
Figura 2 – Grandezas de dinâmica veicular.	6
Figura 3 – Relação de tensão x deformação.....	7
Figura 4 – <i>Strain gage</i> de filamento	8
Figura 5 – <i>Strain gage</i> de trama pelicular	9
Figura 6 – Amplificador HX711.....	9
Figura 7 – Circuito em ponte de <i>Wheatstone</i>	10
Figura 8 – Arduino ATmega 2560.	11
Figura 9 – Ambiente de trabalho <i>solidworks</i>	12
Figura 10 – Carro da equipe FAHOR E-Racing durante os testes.....	16
Figura 11 – Método de trabalho utilizado	17
Figura 12 – 3D do tubo para instrumentação	18
Figura 13 – Tubo fabricado para instrumentação.....	18
Figura 14 – <i>Strain gage</i> utilizado no processo	19
Figura 15 – Peça puncionada e referenciada para a instrumentação	20
Figura 16 – Superfície lixada com lixa grão 100.....	22
Figura 17 – Superfície com acabamento de lixa grão 280	22
Figura 18 – Delimitação de linhas de centro na peça.....	23
Figura 19 – Pedaco de pano para limpeza imediata da peça	24
Figura 20 – Aplicação da acetona na peça	24
Figura 21 – Limpeza com um pano limpo	25
Figura 22 – Aplicação do limpa contato	25
Figura 23 – Aplicação do <i>gage</i> na fita durex	26
Figura 24 – Posicionamento do <i>Strain gage</i> na peça.....	27
Figura 25 – <i>Strain gage</i> pronto para receber a cola.....	27
Figura 26 – <i>Strain gage</i> com cola.....	28
Figura 27 – <i>Strain gage</i> colado	29
Figura 28 – Tubo instrumentado	30
Figura 29 – Ligação da ponte ao arduino	31
Figura 30 – Biblioteca HX711	32
Figura 31 - Peso base sendo mensurado	32
Figura 32 – Processo de calibração	33

Figura 33 – Posicionamento do tubo e cabos	34
Figura 34 – Pista de teste.....	35
Figura 35 – Gráfico de frequência teste de aceleração.....	37
Figura 36- Gráfico de frequência do teste da curva do 8.	38
Figura 37 – Gráfico de frequência do teste de frenagem.	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 TEMA	1
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	2
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	2
1.4 HIPÓTESES	2
1.5 OBJETIVOS	3
1.5.1 Objetivo geral	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
1.6 JUSTIFICATIVA	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 COMPETIÇÃO FÓRMULA SAE BRASIL	4
2.2 Suspensão “Duplo A”	5
2.3 Dinâmica Vertical	6
2.4 EXTENSOMETRIA.....	7
2.4.1 <i>Strain Gage</i>	8
2.4.2 HX711	9
2.4.3 Ponte de <i>Wheatstone</i>	10
2.4.4 ATmega.....	11
2.5 <i>SolidWORKS</i>	12
3 METODOLOGIA.....	14
3.1 Materiais utilizados para instrumentação	14
4 DESENVOLVIMENTO	16
4.1 Características do veículo elétrico em estudo	16
4.2 Desenvolvimento de um método de trabalho	17
4.3 INSTRUMENTAÇÃO DO TUBO	18
4.4 Extensômetro utilizado	19
4.5 Ponto de instrumentação.....	20
4.6 Preparação da superfície do tubo	21
4.7 Limpeza das superfícies	23
4.8 Colagem do <i>strain gage</i>	26
4.9 Ponte de <i>Wheatstone</i>	30
4.10 Software	31
4.11 Calibração do tubo instrumentado.....	32
4.12 Montagem do tubo instrumentado	34
4.13 Testes de funcionalidade.....	35
4.14 Pista de teste.....	35
4.15 Testes dinâmicos	36
4.15.1 Teste Aceleração	36
4.15.2 Teste Curva do 8.....	37
4.15.3 Teste de frenagem	38
CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos no Brasil, competições envolvendo o desenvolvimento de veículos têm se tornado cada vez mais populares, refletindo a necessidade do emprego de novas tecnologias para o progresso da mobilidade urbana. Nestas competições, alunos de engenharia se propõem a projetar, construir e validar a performance de protótipos veiculares. Estes veículos devem ser capazes de cumprir os objetivos determinados pela equipe organizadora do evento em diferentes quesitos que são avaliados.

Entre as diferentes competições existentes atualmente, a competição Fórmula SAE BRASIL, tem como objetivo propiciar aos estudantes de Engenharia a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, desenvolvendo um projeto completo e construindo um carro tipo Fórmula. Atualmente, a Faculdade Horizontina (FAHOR) participa da competição para a construção de um veículo *off-road* e de um veículo elétrico.

Durante a etapa de projeto dos veículos, é bastante comum que não sejam executadas as simulações dinâmicas dos veículos, tipicamente pela dificuldade em replicar, no ambiente de simulação, condições às quais o protótipo será submetido, bem como o grande poder computacional requerido por este tipo de simulação, por vezes requerendo *hardware* indisponível aos projetistas (WISNIEWSKI FILHO, 2018).

Mediante essas considerações, foi desenvolvido neste projeto um sistema de extensometria para uma análise de esforços que o chassi do veículo de Fórmula Elétrico, desenvolvido pela equipe FAHOR E-Racing, pode suportar. A escolha pelo veículo elétrico se dá pelo fato de ser a primeira vez que este tipo de veículo é desenvolvido na instituição, e por este motivo, a importância de levantar os dados da fadiga estrutural do chassi evitando uma quebra indesejada durante uma competição.

1.1 TEMA

O presente projeto de pesquisa possui como estudo o desenvolvimento de um sistema de extensometria na suspensão de um veículo elétrico de competição tipo Fórmula SAE.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho delimita-se ao desenvolvimento e aplicação de um sistema para extensometria da suspensão de um veículo elétrico do tipo fórmula SAE desenvolvido pela equipe FAHOR E-Racing.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O projeto do veículo de fórmula SAE da Faculdade Horizontina, busca o desenvolvimento de um sistema de suspensão mais eficiente e ao mesmo tempo que garanta sua integridade durante as provas da competição.

Pode ser considerados no projeto, valores de dureza mais elevados, garantindo a durabilidade desses componentes do veículo, não quebrando durante a competição, pela sua elevada estruturação. Entretanto compromete a eficiência da atuação do conjunto suspensão, gerando perdas para a equipe, na pista de corrida e na avaliação funcional do veículo realizada por inspetores.

Com isso o presente estudo deve apresentar quais são os reais valores da suspensão identificando os esforços verticais durante a execução de um circuito, a Equipe FAHOR E-Racing busca por esses valores para dimensionar futuras suspensões para o veículo e até mesmo um chassi novo.

1.4 HIPÓTESES

- O uso da extensometria nesse estudo é o meio eficaz de garantir que se tenha dados confiáveis para futuros projetos no veículo da equipe FAHOR E-Racing,
- A utilização de *strain gage* uniaxial, instrumentado no tubo da suspensão é uma forma fácil e rápida para coletar dados de esforços verticais.
- O uso de um arduino ATMega vai possibilitar praticidade na coleta dos dados, como não vai requisitar um número grande de portas já que a instrumentação conta com somente dois *strain gages*.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo geral

Desenvolvimento de um sistema de extensometria para aquisição de dados referentes aos esforços verticais da suspensão de um veículo elétrico tipo fórmula SAE.

1.5.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos para desenvolvimento deste trabalho são:

- Identificar o melhor ponto de instrumentação dos *strain gages*;
- Instrumentar um tubo que substitua a suspensão atual;
- Calibrar o tubo instrumentado, para garantir valores de coleta reais;
- Coletar os dados, simulando uma pista da competição;
- Interpretar os dados obtidos.

1.6 JUSTIFICATIVA

As análises de esforços são de fundamental importância para o desenvolvimento de um projeto, de modo a determinar a durabilidade do produto sob todas as circunstâncias de uso. Em muitos casos, como este em específico, somente a análise teórica não é suficiente para garantir os requisitos do projeto, visto que, muitos fatores críticos estão envolvidos com o processo de construção do veículo, como por exemplo, a variação das propriedades dos materiais e o próprio processo de montagem de cada componente.

O presente projeto de pesquisa se justifica pela falta de informações referentes aos esforços verticais aos quais o chassi do veículo está submetido. A coleta de dados desses esforços na suspensão permitem otimizar o projeto do veículo, levando a uma possível economia de material, redução do peso, melhorias na segurança e aumento da eficiência energética do protótipo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A extensômetria aplicada ao veículo da FAHOR E-Racing, vai ser uma atividade ampla, e necessitará muito conhecimento teórico e prático, para que no final se obtenha o melhor resultado para a equipe, dentro desse processo será visto alguns softwares e hardwares responsáveis por garantir a coleta de dados da suspensão, além de entender melhor como funcionar a mesma em veículos.

2.1 COMPETIÇÃO FÓRMULA SAE BRASIL

A competição Fórmula SAE é um evento que ocorre anualmente no Brasil no mês de agosto, juntando estudantes de diversos lugares do país, com categoria de veículos, elétrico, combustão e híbridos:

A competição Fórmula SAE BRASIL, assim como as outras provas promovidas pela entidade, tem como objetivo propiciar aos estudantes de Engenharia a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, desenvolvendo um projeto completo e construindo um carro tipo Fórmula. Os trabalhos são realizados em grupo. Criada em 2004, a Fórmula SAE BRASIL está a caminho da sua 18ª edição. Em 2019 envolveu mais de 1400 inscritos, número que cresce significativamente a cada ano. As equipes melhor classificadas ganham o direito de representar o Brasil em duas competições internacionais realizadas nos EUA. (SAE BRASIL, 2022, p. 1).

Neste contexto, o projeto disponibilizado pela SAE BRASIL visa trazer oportunidades para os estudantes de engenharia desenvolver-se a partir da construção de um protótipo, onde tem a chance de colocar na prática conceitos que antes eram vistos somente em sala de aula, podendo conceber um modelo, estudar sua viabilidade e fabricar um monoposto apto após validações, para participar da competição Fórmula SAE Brasil.

O projeto desenvolvido pela FAHOR E-Racing possibilita aos estudantes aplicar conceitos de diferentes disciplinas da engenharia, o principal foco está nas engenharias, mecânica, Controle e Automação e Produção, disponibilizadas pela instituição Faculdade Horizontina. O protótipo precisa ser construído com base no regulamento SAE Internacional, pois segue rígidas normas nacionais e internacionais de automobilismo, durante o processo de prototipagem e nos dias da competição a equipe passa por algumas provas, que são baseadas nessas normas internacionais, é necessário o veículo atenda os critérios básicos de engenharia, esses que são fornecidos pela equipe por meio de relatórios, para a organização do

evento, que avaliam critérios de segurança para ver se a equipe possa participar das provas estáticas e dinâmicas.

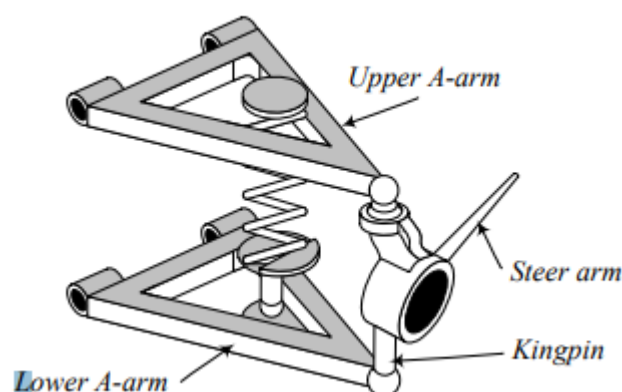
Durante três dias de evento, os carros passam por provas estáticas e dinâmicas, avaliando a performance de cada projeto na pista, assim como as apresentações técnicas das equipes, que inclui projeto, custo, e uma apresentação de marketing. Meses antes da competição, os estudantes enviam para o comitê organizador relatórios de custos, estrutura, atenuador de impacto e projeto. Os relatórios são avaliados por engenheiros especialistas, e já valem como a primeira parte da avaliação dos protótipos. Já durante a competição, nas provas estáticas, as equipes devem demonstrar mais detalhadamente se o carro apresentado no projeto equivale com o apresentado no evento. As provas dinâmicas são realizadas no segundo dia do evento. Todas as provas são pontuadas de maneiras diferentes, de maneira a garantir que o melhor conjunto de projeto e carro vença a competição. (SAE-BRASIL, 2022, p. 1).

2.2 SUSPENSÃO “DUPLO A”

Existem diversos tipos de suspensões veiculares disponíveis no mercado para adotar em um projeto, mas a suspensão “duplo A” é uma das mais comuns e simples de se trabalhar, o seu sistema é do tipo independente, ou seja, ela permite que as duas rodas trabalhem o movimento de subir e descer sem uma atrapalhar a outra, segundo JAZAR (2008).

O sistema de suspensão é um dos conjuntos mais importante para ser definido em um veículo, que precisa apresentar alta performance em um circuito fechado com muitas curvas, o “duplo A” permite ter até quatro pontos de fixação ao chassi do veículo e dois pontos na manga de eixo, permite uma cinemática de rolagem, no “duplo A” temos dois braços principais definidos como, braço superior (*Upper A-arm*), braço inferior (*Lower A-arm*), conforme descrito por JAZAR (2008), na Figura 1 abaixo podemos identificar os braços:

Figura 1 – Braço da suspensão



Fonte: Jazar, 2008, p. 465

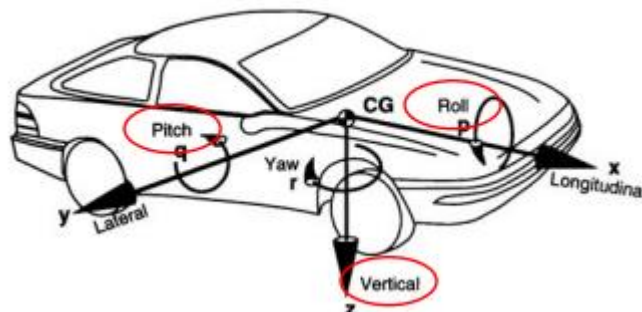
Os tipos de suspensões independentes trazem alguns benefícios para os veículos, um deles é a redução de vibrações na direção produzidas pelo contato do veículo com o solo durante um deslocamento, outro benefício é o aumento de espaço útil, boa opção para um carro de tração traseira conforme Gillespie (1992).

A suspensão “dupla A” apresenta diversos componentes responsáveis pelo funcionamento adequado do sistema, esses componentes devem trabalhar juntos garantindo que a suspensão do veículo se comporte de maneira ideal durante uma competição, para isso cada detalhe é importante, conforme a figura 1, é possível identificar os principais componentes em uma suspensão “duplo A”, são eles, a mola e amortecedor, pivô de suspensão, manga de eixo, braço inferior e braço superior.

2.3 DINÂMICA VERTICAL

Os dados recebidos após os testes são resposta do funcionamento do sistema de suspensão conforme o momento em que atuou, assim é possível estudar a dinâmica envolvida no veículo durante um percurso. Segundo Freitas (2006) a massa de um veículo possui três grandezas que são: a rotação em torno do eixo (Y) é conhecida como arfagem, outra grandeza está disposta no eixo (X), conhecida como rolagem e a última grandeza está no eixo (Z), responsável pela massa suspensa e não suspensa no veículo. Conforme a Figura 2 é possível identificar as grandezas.

Figura 2 – Grandezas de dinâmica veicular.



Fonte: Freitas, 2006, p. 58.

Conforme Freitas (2006) toda suspensão possui propriedades básicas, como amortecimento (C_s) e rigidez (K_s), além do amortecimento do pneu considerado por (K_t), esses coeficientes são adicionados em estudos para representação de

amortecimentos. No caso deste estudo é desconsiderado o coeficiente de amortecimento e rigidez, visto que se busca entender as forças verticais de entrada no veículo, para isso o sistema de suspensão permaneceu em total rigidez.

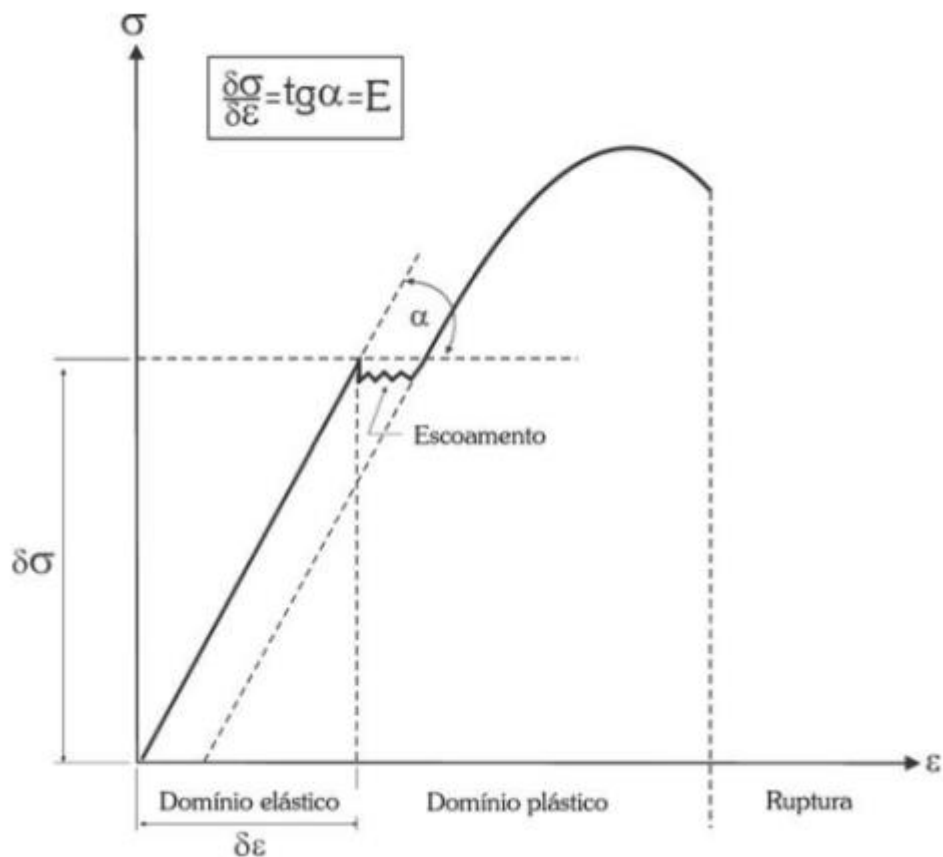
2.4 EXTENSOMETRIA

A extensometria segundo Fialho (2010) é considerado um método para leitura de dados de deformação em alguma superfície. Essa técnica possibilita coletar dados de deformação em tempo real se baseando entre a deformação linear e tensão.

De acordo com Fialho (2010), se um material for do tipo isótropo ou homogêneo, e o mesmo apresentar um limite elástico muito elevado, pode-se dizer que a relação de deformação x tensão é linear no processo. Em deformação é geralmente utilizada a unidade de micro deformação ($\mu\epsilon$) ou 1×10^{-6} essa é a relação de variação de 1 micrometro, por metro. Já a tensão nesse caso refere-se ao estresse que o material estará sujeito a sofrer nesse caso podemos medir ela utilizando a unidade (N/mm^2).

No processo de deformação de uma peça temos algumas variáveis que se deve ter cuidado, uma das mais importantes é conhecer o limite de escoamento do material que está sendo deformado, cada material tem um limite pré-determinado, para entender melhor esse escoamento pode-se ver a Figura 3 abaixo, onde temos a relação de tensão x deformação. Segundo FIALHO (2010) a deformação não é somente exercida em uma direção da peça, mas sim em todas, quando se tem deformação em um lado (x), temos contração outros (y e z).

Figura 3 – Relação de tensão x deformação



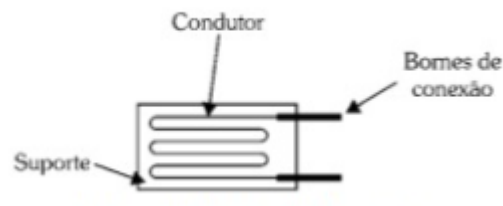
Fonte: Fialho, 2010, p. 132

2.4.1 Strain Gage

Dentre os diferentes procedimentos existentes para converter deformações mecânicas em sinais elétricos proporcionais, o mais conhecido é o que utiliza elementos cuja resistência elétrica varia em função de pequenas deformações longitudinais. Esses elementos são pequenas células extensométricas afixadas (coladas) na superfície do corpo de prova ou da própria máquina, formando um conjunto solidário, e recebem o nome de strain gauges FIALHO (2010, p.134)

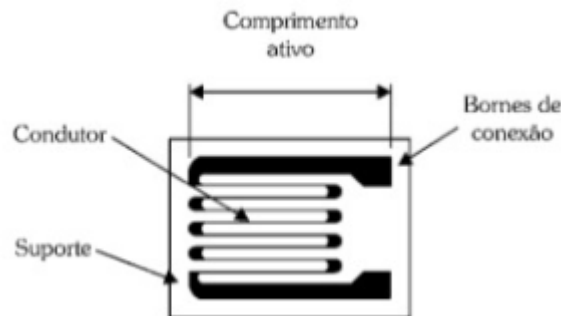
Com a necessidade da engenharia em saber valores de deformações em peças que são fundamentais para a estrutura de uma máquina, o *strain gage* é um item de instrumentação fundamental em projetos em desenvolvimento, segundo Fialho (2010, p.134) existem dois tipos de *strain gage* metálico, o *gage* de filamento, (Figura 4) que nada mais é que um pequeno fio de 0,0025mm de diâmetro, e também o *gage* de trama pelicular, (Figura 5) a sua resistência é dada por um processo fotoquímico formando assim suas pistas de contato, bastante sensível a pequenas deformações.

Figura 4 – *Strain gage* de filamento



Fonte: Fialho, 2010, p. 135

Figura 5 – *Strain gage* de trama pelicular



Fonte: Fialho, 2010, p. 135

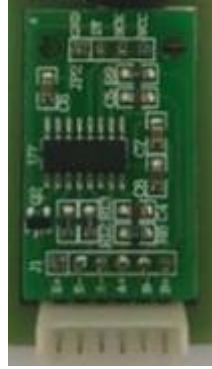
De acordo com o fabricante de *strain Gage* HBM (2020), tem alguns fatores que levam *strain gage* a deformar, são eles, uma força externa aplicada a peça testada, a influência térmica do calor ou frio e forças internas residuais, vindas do processo de solda ou fundição, mas é necessário levar em consideração o tipo de material que está sendo testado para entender o seu limite de escoamento, e no final obter o melhor resultado dos testes.

2.4.2 HX711

O HX711 é um amplificador bastante utilizado em célula de carga com *strain gage*, sua função é possibilitar a medição de dados a partir dos extensômetros instalados no equipamento e transmitir para o coletor de dados. Na Figura 6 é possível identificar um amplificador HX711.

Segundo Silva, Pauperio, Junior, Pimentel (2017), o amplificador HX711 é responsável por converter o sinal analógico recebido dos extensômetros e convertê-lo em sinal digital, esse sinal convertido pelo modulo é enviado para as saídas DT e SCK, esse sinal pode ser enviado para o arduino pelas portas A1 e A0.

Figura 6 – Amplificador HX711.

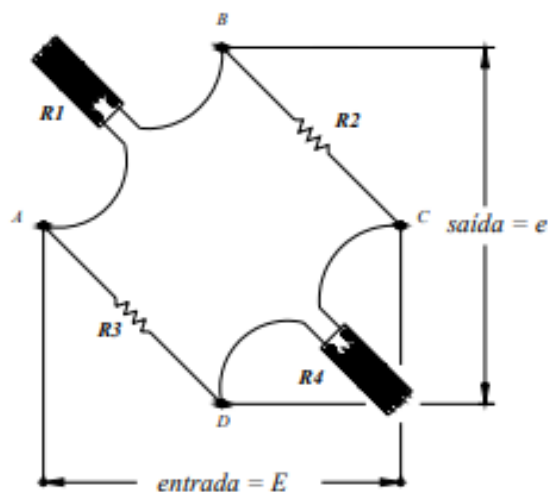


Fonte: Silva, Pauperio, Junior, Pimentel, 2017, p. 6

2.4.3 Ponte de *Wheatstone*

Para a realização de uma instrumentação que vai ler dados a partir de extensômetros empregados em algum corpo de prova é necessário um esquema elétrico que intermedia o extensômetro com o leitor de dados, esse circuito elétricos deve ser capaz de medir a variação de resistência, basicamente o circuito pode contar com resistores fixo ou com extensômetros, já que um extensômetro é considerado um resistor, para o circuito fazer a leitura correta dos dados todos os elementos ligados do circuito devem ter a mesma resistência de acordo com ANDOLFO, CAMACHO E BRITO (2004).

Figura 7 – Circuito em ponte de *Wheatstone*



Fonte: Andolfo, Camacho e Brito, 2004, p. 29

Segundo Andolfo, Camacho e Brito (2004), os resistores em série são divisores de tensão, os resistores em paralelo não varia, mas a corrente pode variar. Com isso para ter uma condição de ponte de *Wheatstone* é necessário ter um estado de equilíbrio ou de deflexão zero entre todos os pontos do circuito, (A, B, C, e D), conforme a Figura 7 com alimentação nos pontos A e C, em caso de uma alteração na resistência do circuito, passaram pelo ponto B e C. essas mudanças de resistências são geradas por um movimento de tração ou compressão no corpo de prova.

2.4.4 ATmega

Existem vários equipamentos para fazer a leitura de dados dos *strain gages*, pode ser usado *E-daq*s, arduino, *raspberry* entre outros, mas o arduino pode ser uma opção mais barata e eficaz para quem for analisar uma pequena quantidade de pontos de leitura. No caso para coletar os dados dos dois *strain gages* instalados nos braços de suspensão, a melhor opção escolhida foi um arduino da família ATmega 2560, conforme a Figura 8.

O ATmega328 pertence à família AVR da Atmel. Todos os modelos desta família compartilham uma arquitetura e conjunto de instruções básicas, particularmente os grupos tinyAVR (microcontroladores ATtiny), megAVR (os ATmega) e XMEGA (os Atxmega). Os primeiros modelos de Arduino usavam o ATmega8 (com 8K de memória Flash), que posteriormente foi substituído pelo ATmega168 (com 16K de Flash e maiores recursos de entrada e saída) e finalmente pelo ATmega328 (com 32K de Flash). A versão DIP destes três modelos compartilham a mesma pinagem (porém o ATmega168 e ATmega328 permitem alguns usos diferentes dos pinos). O Arduino Mega 2560 usa o ATmega2560 com 256K de Flash e uma capacidade muito maior de entrada e saída. (CAETANO, 2022).

Figura 8 – Arduino ATmega 2560.



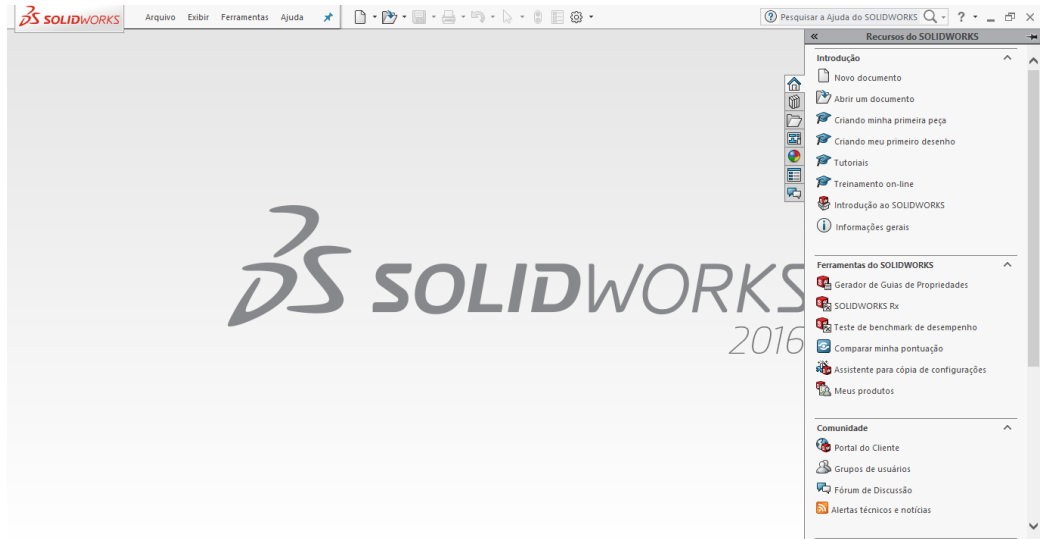
Fonte: Autor, 2022.

2.5 SOLIDWORKS

É uma ferramenta CAD muito presente no meio da engenharia, Segundo Laurindo (2011), o *solidworks* trabalha com diversa ferramenta de criação, simulação e gerenciamento de dado, permitindo ao cliente ter uma maior organização sobre seus produtos, além de produto com maior qualidade, essa ferramenta pode trazer soluções rápidas e econômicas para o mercado onde está inserido.

Nesse estudo essa ferramenta foi relevante para desenhar a barra que foi instrumentada para o teste, com as medidas que a equipe FAHOR E-Racing tinha do amortecedor atual do veículo, só necessitou modelar um tubo conforme necessário para a modelagem, a figura 9 demonstra o ambiente de trabalho do *solidworks*.

Figura 9 – Ambiente de trabalho *solidworks*



Fonte: Autor, 2022.

3 METODOLOGIA

O referente estudo utilizou o método de investigação qualitativo e de pesquisa descritiva-exploratória, onde o intuito é levantar dados de livros, artigos e trabalhos acadêmicos já existentes, a fim de obter maior embasamento técnico sobre o tema deste trabalho. O estudo a seguir se deu por meio da instrumentação da suspensão com o intuito de medir esforços no campo de testes e com isso obter dados que vão agregar novos conhecimentos.

O seguinte trabalho tem como primeiro passo, analisar o sistema de suspensão do veículo, buscando por meio de análises virtuais, conhecer os pontos de maior deformação nos braços da suspensão, com esses dados virtuais será possível dar continuidade no trabalho principal, onde é necessário a instrumentação da suspensão.

Para a realização do trabalho prático de instrumentação, há necessidade de ter todos os recursos prontos para uso, pois uma vez começado precisa finalizar para garantir a qualidade da instrumentação instalada. Para instrumentar, é necessário lixar as barras de suspensão e após efetuar a colagem do *strain gages* nos locais corretos, soldar e rotear os cabos de dados e após protegê-los contra poeiras e umidade.

Para os testes é utilizado um arduino ATmega na coleta de dados, onde serão feitas algumas coletas em uma área com trajeto definido, esse trajeto contará com uma reta de aceleração, reta de frenagem e “curva do 8”, esses são necessários para validar o procedimento de coleta de dados para o estudo. Após realizar o trajeto, os dados serão compilados e realizado a geração de gráficos, para efetuar a análise de esforços que a barra de suspensão está sofrendo durante uma corrida.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS PARA INSTRUMENTAÇÃO

Para a realização dos testes de entrada de força vertical do veículo, foi necessário reunir todos os materiais antes, sendo um processo bem minucioso. É importante que todo material utilizado esteja pronto para uso e seja de ótima qualidade, para não ter problemas durante as coletas de dados o que poderia ser um ponto de omissão de dados importantes no relatório final.

Os materiais necessários para a instrumentação são:

- 04 - *Strain gage* de 350 Ohms;
- 01 - Arduino ATmega;
- 02 - Módulo HX711;
- 04 –Resistor de 350 Ohms;
- 01 - Multi-teste;
- 01 - Cola para *gage*;
- 01 – Lixa grão 400;
- 01 – Lixa grão 280;
- 01 – Lixa grão 100;
- 01 – Acetona;
- 01 – Pacote de cotonete de algodão;
- 01 – Fita durex;
- 01 – Limpa contato *spray*;
- 01 - pinça de manipulação;
- 01 – estanho;
- Cabo de rede;
- Isolante térmico para cabos.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO ELÉTRICO EM ESTUDO

Inicialmente o projeto começou com três integrantes da Engenharia de Controle e Automação, com a vontade de ter um projeto de carro elétrico na região, foi lançado o projeto PIC, logo foi aprovado, porém o mundo estava adentrando em uma longa pandemia, esse foi um fator prejudicador para o time, pois como não se tinha nada para iniciar precisava de patrocínio total para a construção de um veículo, durante dois anos, com um time maior de quase 20 pessoas, foi concluído o primeiro carro pronto para uma competição.

O veículo construído pela equipe tem sua estrutura inteira composta por tubo aço 1020, material fácil de encontrar na região e barato, a configuração do *powertrain* do carro conta com uma caixa de gol responsável pela transferência de torque do motor até as rodas traseiras. Já o motor do mesmo é um WEG de 16 HP proporcionando ao veículo um auto torque, e ótimo desempenho na pista de corrida, tudo isso alimentado por um conjunto de baterias de lítio, a parte lógica de programação que é encontrada no carro foi desenvolvida pelos próprios integrantes da equipe. Na Figura 10 é possível identificar o veículo utilizado nos testes.

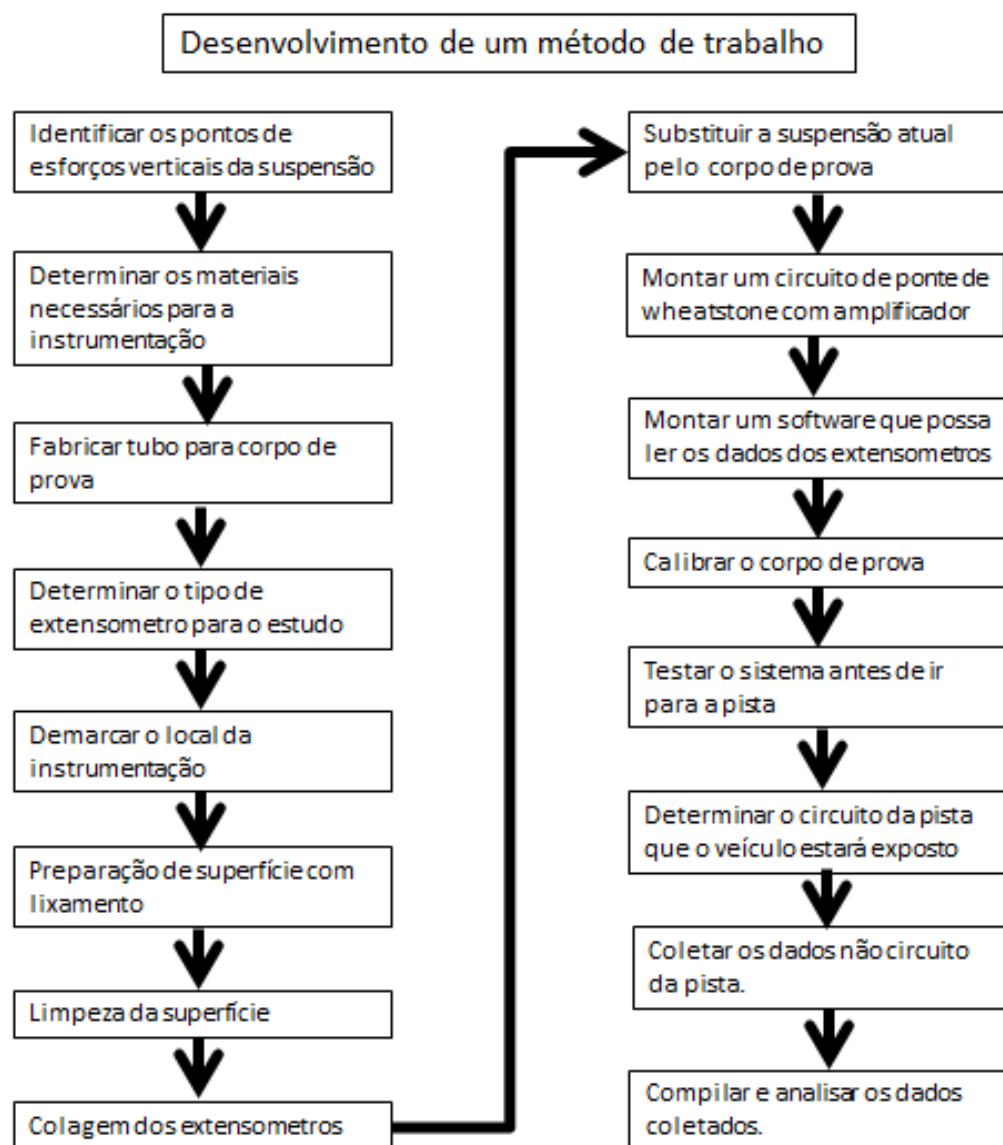
Figura 10 – Carro da equipe FAHOR E-Racing durante os testes.



4.2 DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE TRABALHO

Durante todo o estudo e realização dos testes foi seguido um passo a passo, do que precisava ser feito na instrumentação, este se apresentou muito importante para garantir que o processo fosse realizado adequadamente e para que nenhuma etapa ficasse de fora. A Figura 11 demonstra o método adotado para a realização da instrumentação da barra da suspensão.

Figura 11 – Método de trabalho utilizado

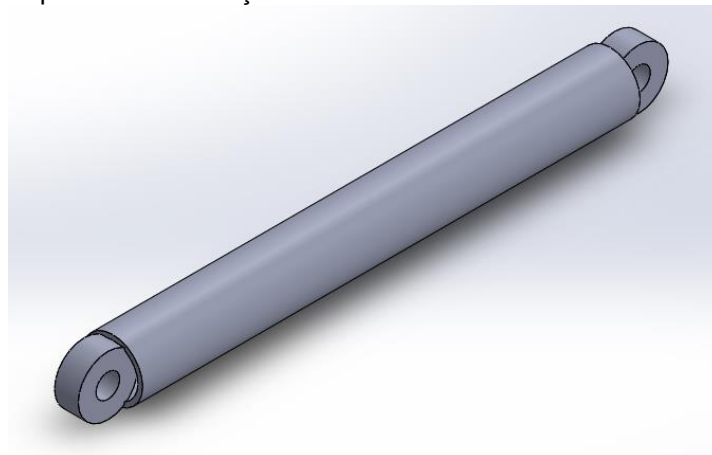


Fonte: Autor, 2022

4.3 INSTRUMENTAÇÃO DO TUBO

Para que possa ser realizada a medição de força vertical do veículo, é necessário ter um equipamento ou instrumento de medição precisa. No caso deste estudo, foi realizada uma instrumentação de uma barra, que faz a função de uma célula de carga coletando as forças exercidas na suspensão. Com o objetivo de coletar os picos de esforços para futuramente dimensionar outro sistema de suspensão, decidiu-se trocar os amortecedores por dois tubos rígidos com olhais nas pontas, esses tubos apresentam as mesmas características de deformação mecânicas dos outros tubos da suspensão, tudo isso para permitir ter dados reais do sistema. Para isso foi desenhado um exemplar no *Solidworks* conforme dimensões do veículo sem prejudicar altura em relação ao chão. A peça apresenta uma dimensão de 250mm x 25,4mm, com dois olhais soldados nas pontas, a Figura 12 demonstra o tubo para fabricação.

Figura 12 – 3D do tubo para instrumentação



Fonte: Autor, 2022

Depois de projetado o tubo para a instrumentação, foi feito juntamente ao laboratório da FAHOR a fabricação do mesmo. A peça finalizada e pronta para instrumentação é apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Tubo fabricado para instrumentação



Fonte: Autor, 2022

4.4 EXTENSÔMETRO UTILIZADO

Os extensômetros utilizados no projeto são do tipo unidirecional, foi definido esse modelo de extensômetro por ele ter a capacidade de leitura de cargas de compressão e também tração, com isso são ideais para leitura de carga vertical como o desse estudo, conforme Figura 14.

Características técnicas fornecidas do produto:

- Tipo: BF350-3AA(11) To-F-X1-V2
- Ohms: 248,7 \pm 0,1;
- Gage fator: 2,0 \pm 0,1;
- Tamanho do filamento: 3,5mm x 3mm;
- Dimensão total: 7,25x4, 4 x 0,03mm;
- Peso: 0,05g;

Figura 14 – *Strain gage* utilizado no processo

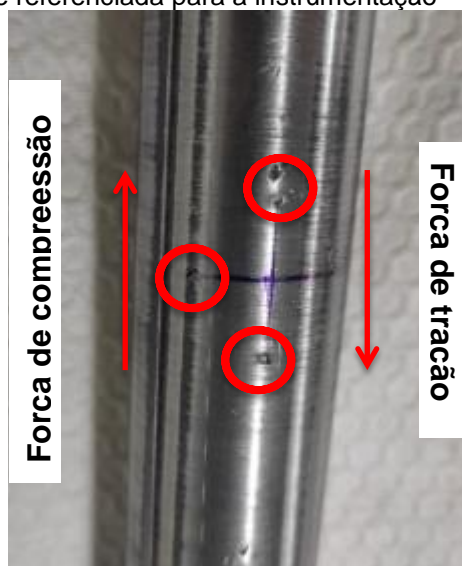


Fonte: Autor, 2022

4.5 PONTO DE INSTRUMENTAÇÃO

Antes de iniciar a colagem dos *strain gages*, foi realizada uma análise previa da peça, para a posição de cada sensor. O ponto definido para a medição de esforço vertical foi o mais centralizado possível da peça. Assim foi demarcado o centro do tubo em 125 mm da borda. Com a determinação do ponto, antes de realizar o lixamento do local é necessário demarcar a peça, essa pode ser feita utilizando um punção, onde são marcados dois pontos na vertical referenciando o sentido de força e um ponto na lateral que determina onde ficará o centro do *strain gage*, esses três pontos referenciam o *strain gage* na peça instrumentada, a Figura 15 demonstra esta marcação.

Figura 15 – Peça puncionada e referenciada para a instrumentação



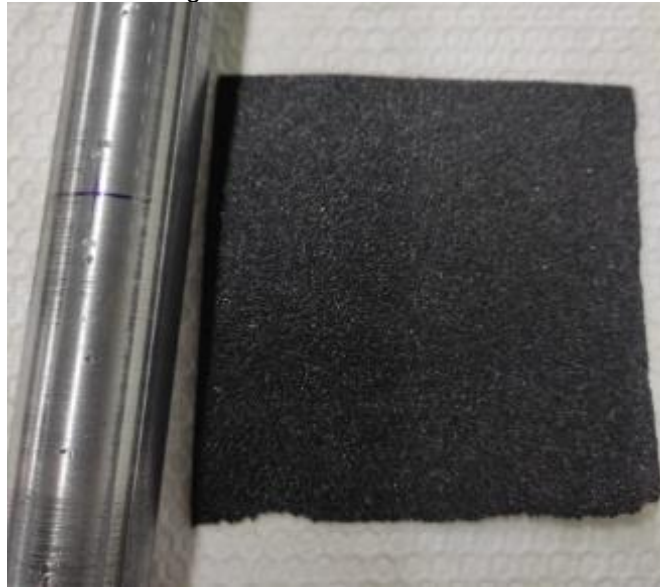
Fonte: Autor, 2022

4.6 PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO TUBO

Para a ideal colagem de um *strain gage* deve-se ter alguns cuidados no momento de preparar a superfície, essa deve ser lixada e limpa a ponto de poder colar o sensor e garantir que o mesmo não vá descolar ou interferir na coleta de dados. Para isso após ter puncionado o local onde é colado o *strain gage*, pode-se dar início no processo de lixamento.

O primeiro passo é fixar a peça em uma morsa para facilitar o trabalho com a lixa. A primeira lixa usada no processo é uma de grão 100, o intuito de começar por essa é eliminar o material “grosso” da superfície, deixando uma superfície mais lisa para a próxima lixa, conforme Figura 16:

Figura 16 – Superfície lixada com lixa grão 100



Fonte: Autor, 2022

O segundo passo, é utilizar uma lixa de grão 280. Essa faz com que a superfície receba um acabamento mais preciso, no caso desse procedimento foi utilizado até a lixa grão 280. Por se tratar de um aço de baixo carbono, foi mais fácil de dar acabamento, sua superfície é pouco porosa, mas em outros casos pode se usar até a lixa grão 400, é importante que a superfície onde é colado o *strain gage*, esteja livre de riscos, deformações, ou falhas na peça, se isso ocorrer, poderá ter desvios de forças nesses locais alterando o resultado final do processo, a Figura 17 representa a superfície ideal para colagem do *gage*.

Figura 17 – Superfície com acabamento de lixa grão 280



Fonte: Autor, 2022

O terceiro passo a ser realizado é a delimitação de riscos de centralização do *gage* entre os três pontos puncionados. Para isso pode ser utilizado uma caneta esferográfica, é importante riscar a peça levemente nesse processo por isso utiliza-se uma caneta, após limpar a tinta da peça deve ficar um risco bem fraco marcado no aço, isso ajuda como referência para colar o sensor, como são riscos nos eixos y e x e de baixa penetração na peça não afetam no resultado final, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Delimitação de linhas de centro na peça



Fonte: Autor, 2022

4.7 LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES

Para a limpeza adequada da superfície onde é colado o *strain gage*, foi realizada uma sequência de passos importantes para garantir que a peça esteja sem poeiras, líquidos ou agentes químicos que possam afetar o desempenho do teste, é necessário que a peça fique neutra.

O primeiro passo é cortar pequenos pedaços de panos de algodão para realizar a limpeza imediata da peça que está sendo tratada. O pano deve ser utilizado somente uma única vez para evitar a contaminação da peça. Conforme exemplificado na Figura 19.

Figura 19 – Pedaco de pano para limpeza imediata da peça



Fonte: Autor, 2022

Na sequência com todos os itens de limpeza selecionados e prontos para uso, é iniciada a limpeza do local onde é colado o sensor com a ajuda de acetona, conforme a Figura 20. Essa parte do processo é crucial para eliminar todo resíduo do local, com o auxílio de um cotonete deve-se misturar a acetona na peça por aproximadamente um minuto. Percebe-se que durante esse processo a peça libera um líquido leitoso, resultado da reação da acetona com a peça. Após isso, com o pedaco de pano é removido da peça o restante do líquido e repetir o processo até ter a certeza que esteja completamente limpa. O pano deve ser usado somente uma vez, passando ele em uma única direção na peça e depois descartado, conforme a Figura 21.

Figura 20 – Aplicação da acetona na peça



Fonte: Autor, 2022

Figura 21 – Limpeza com um pano limpo



Fonte: Autor, 2022

Com a peça livre de reagentes e poeiras, o próximo passo é neutralizar a área para garantir que a acetona não cause danos ao *strain gage*. Para isso foi utilizado *Spray* limpa contato, conforme a Figura 22, com o auxílio de um cotonete, foi aplicado o limpa contato algumas vezes, até limpar totalmente o líquido leitoso causado pela acetona. Após isso a superfície deve ser limpa novamente com um pano, esfregando em uma única direção e em seguidamente descartando.

Figura 22 – Aplicação do limpa contato

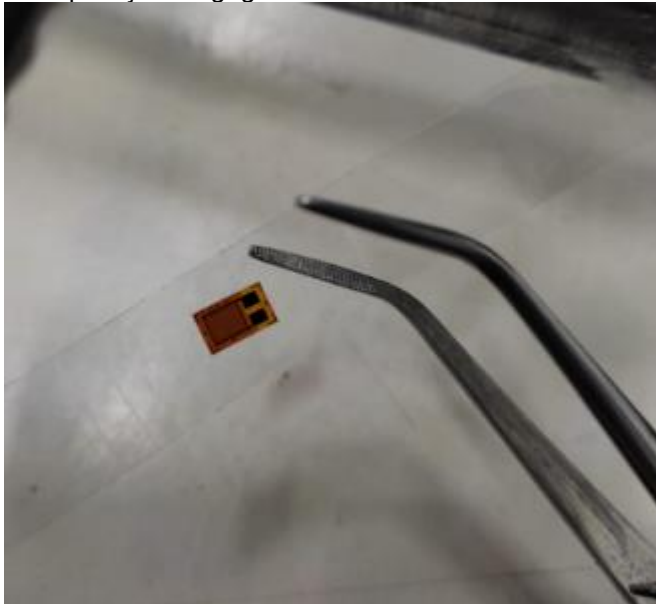


Fonte: Autor, 2022

4.8 COLAGEM DO *STRAIN GAGE*

Após a peça passar por todos os processos de lixamento e limpeza superficial, ela está pronta para receber a colagem do *strain gage*. Com uma pinça é necessário agarrar o *gage* do pacote do fabricante e colar temporariamente em um pedaço de fita durex, conforme a Figura 23. Durante esse processo é necessário ter alguns cuidados. O primeiro é o lado correto do sensor, existe o lado opaco e o brilhante, é necessário o lado brilhante ficar contra a fita durex, já que o lado opaco do sensor é o mais sensível e este vai ficar colado contra a peça instrumentada no final do processo. Outro cuidado durante esse processo é o de manter limpo o lado opaco do sensor, o mesmo não pode entrar em contato com sujeira.

Figura 23 – Aplicação do *gage* na fita durex



Fonte: Autor, 2022

A fita durex é necessária para manipular o *strain gage* de maneira segura e que vai garantir o alinhamento nos eixos de posição. Com o *strain gage* colado na fita, a próxima etapa é o posicionamento na peça, para isso o sensor conta com algumas setas (x e y) no corpo do sensor, o mesmo deve ser posicionado conforme a Figura 24.

Figura 24 – Posicionamento do *Strain gage* na peça



Fonte: Autor, 2022

Com a certeza que o *strain gage* está alinhado no eixo x e no eixo y, é realizado o processo de colagem. Nesse processo foi usado cola Loctite 496, essa cola é escolhida pela suas características que permitem uma ultra secagem e também garante a união dos dois corpos. É possível testar a cola antes de aplicar em um *strain gage*, evitando de estraga-lo. Para isso é utilizando dois pedaços de plasticos, que devem ser colados e seu processo de colagem precisa ser instantaneo de modo que não possa romper aplicando-se uma certa força com as mãos. Durante a colagem do sensor no tubo é necessario recolher um pouco a fita com o objetivo de destampar a parte opaca do sensor, conforme representa a Figura 25.

Figura 25 – *Strain gage* pronto para receber a cola



Fonte: Autor, 2022

Aplica-se uma gota de cola, de forma que fique uniforme por todo corpo do sensor, conforme a Figura 26, após com muito cuidado, a fita deve ser posicionado no ponto inicial, e o sensor deve ser pressionado sobre a peça metálica utilizando um pedaço de pano de algodão cuidadosamente. Para que a força aplicada com as mãos não danifique o *strain gage*, esse processo de pressionar é aplicado durante 2 minutos para garantir que a cola firme os dois corpos, após isso a peça é guardada em um local que não vá sofrer danos, com o objetivo de descansar a cola por pelo menos um dia.

Figura 26 – *Strain gage* com cola



Fonte: Autor, 2022

Existem algumas formas para testar se realmente o *strain gage* teve sua colagem bem sucedida. Isso é muito importante para a continuidade dos testes com a peça instrumentada garantindo que os dois se uniram em um conjunto. Para isso depois que a peça descansou por pelo menos um dia, é removido a fita durex deixando o *strain gage* exposto, com o auxílio de uma pinça, é realizado movimentos laterais contra o *gage*, com o objetivo de identificar falhas na colagem. Não se pode ter cantos soltos ou mal colados, isso influencia na qualidade dos dados finais. Em caso de identificar que não tenha presença de falhas é dada a sequência no processo de instrumentação, nesse processo se houver falhas, todo o processo deve ser reiniciado, tendo que realizar o lixamento total da área. Na Figura 27 abaixo um *strain gage* colado adequadamente.

Figura 27 – *Strain gage* colado



Fonte: Autor, 2022

Com os *strain gages* colados nos lugares certos e a cola descansada após um dia, é realizada a ligação elétrica deles. Para permitir a medição correta de micro *strain*, para isso foi utilizado cabos de 0,8mm, é necessário ser um cabo maleável, isso pelo fato de ser um local de difícil para soldagem. Esses cabos foram feitos do tamanho ideal para ligar até o arduino que vai ficar posicionado no centro do veículo, sem emendas para evitar interferência nos dados que estão sendo lidos. A solda realizada entre os cabos e o *strain gage* deve ter uma qualidade boa, pois é uma área bem delicada. Com o ferro de solda a uma temperatura de 200°C, coloca-se uma gota de estanho na ponta dos cabos e um ponto em cada terminal do sensor, para união dos dois deve-se ser bem rápido para impedir que aqueça o *strain gage* e

danifique-o mesmo. Por fim é realizado um teste para validar todo o processo de colagem e fixação dos cabos elétricos. Com um multímetro, é verificada a resistência em que se encontra o *strain gage* do tubo, conforme o *data sheet* sua resistência deve ser de $348,7 \pm 0,1$ Ohms.

Com os dois unidos, um processo importante para a segurar que qualquer enrosco no cabo quebre essa união, é realizar a colagem do cabo junto com o tubo instrumentado, aproximadamente 40 mm do antes do *gage*, foi utilizado super bonder 496, assim garantindo uma união boa no local. Como o tubo instrumentado vai ser utilizado uma única vez, não vai ser necessário proteger melhor a área onde o *gage* está colado, na Figura 28 pode-se verificar o resultado final.

Figura 28 – Tubo instrumentado



Fonte: Autor, 2022

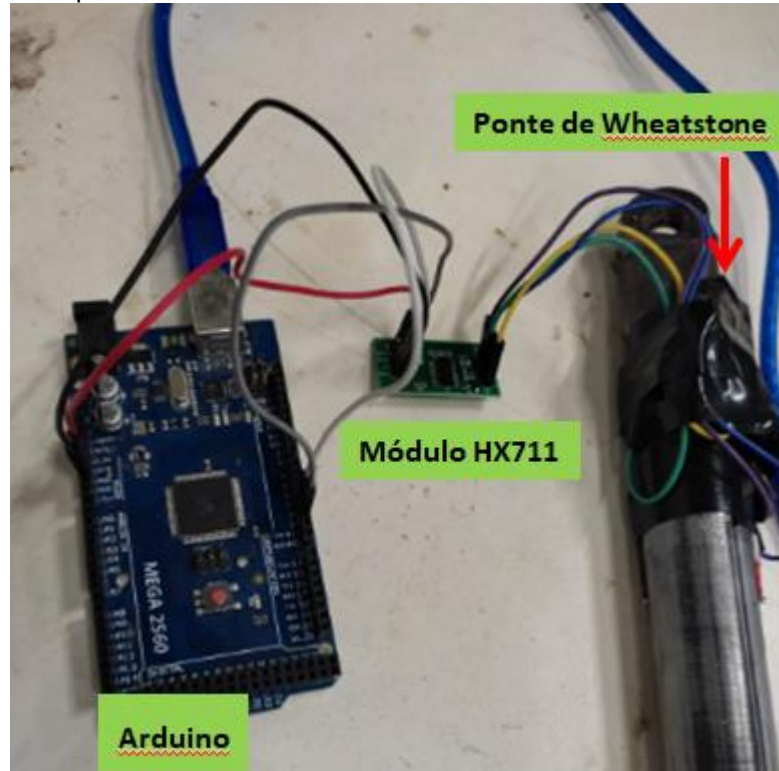
4.9 PONTE DE WHEATSTONE

Para possibilitar a leitura de variação de tensão no estudo, teve-se que desenvolver uma ponte de *wheatstone*. A ponte de montada foi do tipo meia ponte ou seja, ao invés de ela ter quatro *strain gages* em série, ela usa somente dois *strain gages* e entre um sensor e outro tem um resistor com o mesmo potencial resistivo, isso caracteriza uma meia ponte. Depois de montar todo o esquema elétrico foi necessário isolar o mesmo para impedir que haja interferências com meios exteriores, podendo ocasionar em uma variação de tensão acidental.

Com a ponte montada foi necessário ligar ela juntamente com um amplificador de frequência do tipo HX711, esse dispositivo tem o objetivo de amplificar os sinais produzidos, passando de um sinal analógico lido pelo

extensômetro, enviando um sinal digital para o arduino, a ligação final conforme a Figura 29.

Figura 29 – Ligação da ponte ao arduino



Fonte: Autor, 2022

4.10 SOFTWARE

Para a leitura dos dados a partir de *strain gage*, foi utilizado um arduino do tipo ATmega 2560. Esse dispositivo disponibiliza ao usuário a praticidade para pequenas coletas de dados. No caso desse trabalho foi usado para coletar os dados de dois sensores em série, dentro de uma ponte de *wheatstone*, mas para possibilitar essa coleta de dados, foi necessário realizar uma aplicação em C++, utilizando o próprio software do arduino.

Foram utilizados recursos conhecidos de bibliotecas disponíveis para arduino do próprio módulo HX711, esse módulo é muito utilizado para projetos como balanças, essas que também usam *strain gage* para mensurar o valor em “Kg”. Com um software que é utilizado nos módulos HX711 foi necessário adaptar o mesmo para a aplicação deste estudo. Conforme a Figura 30 é possível ver a biblioteca do HX711 sendo utilizada juntamente com o fator de calibração que é necessário para calibrar o tubo instrumentado.

Figura 30 – Biblioteca HX711

```
#include "HX711.h"
#define DOUT 3
#define CLK 2
HX711 gage;
float calibration_factor =1530;
```

Fonte: Autor, 2022

4.11 CALIBRAÇÃO DO TUBO INSTRUMENTADO

Nesse processo de instrumentação, não basta fazer todos os processos acima, instalar o corpo de prova e ir coletando os dados. Um dos pontos mais importantes da instrumentação é garantir que a peça instrumentada esteja informando os dados reais, para isso é necessário informar ao software um valor de massa real.

Para isso foi utilizado uma balança calibrada, com ela foi mensurado o valor real de um pedaço de aço e uma pequena base que foi fabricado para posicionar o peso sobre o tubo instrumentado. Com peso de 5,265 kg, com o valor mensurado na mão, pode se passa essa informação para o software. Esse valor é convertido em tensão elétrica, fazendo com que a peça instrumentada tenha um ponto de referência, lembrando que é informado em kg, mas o software faz a leitura em *micro strain*, medida de tensão elétrica. Após esse processo a peça está pronta para ser usada para os testes de extensômetria. Na Figura 31 tem-se o peso de calibração sendo mensurado:

Figura 31 - Peso base sendo mensurado



Fonte: Autor, 2022

Seguindo o processo de calibração, com o auxílio de uma morsa foi prendido o tubo calibrado na vertical, posicionado a base sobre o tubo e após o peso mensurado para teste. Com o peso sobre o tubo é possível identificar o fator de calibração a partir do software com a variação de tensão elétrica em relação ao peso que está sobre o tubo instrumentado, esse fator vem da conversão do peso conhecido da peça para um valor de tensão. O fator de calibração deve ser usado no momento das coletas de dados, ele que vai referenciar o tubo instrumentado, durante esse processo é necessário montar todo o sistema de extensometria que vai ser usado no veículo, na bancada de testes. A Figura 32 demonstra esse processo em uma bancada estática:

Figura 32 – Processo de calibração



Fonte: Autor, 2022

4.12 MONTAGEM DO TUBO INSTRUMENTADO

Com o tubo instrumentado pronto para os testes, ele deve ser substituído no lugar da mola da suspensão dianteira direita, essa foi a posição escolhida, somente uma barra foi aplicada no veículo para a leitura de dados. Com muito cuidado para não dar interferências ou danificar ele no momento de montar no veículo, conforme a Figura 33. Os cabos de ligação foram passados no veículo de forma que não fossem esmagados pelas articulações dianteiras, até o arduino, que vai ficar posicionado no centro do carro.

Figura 33 – Posicionamento do tubo e cabos



Fonte: Autor, 2022

4.13 TESTES DE FUNCIONALIDADE

Antes de começar os testes de campo, é realizada alguns detalhes técnicos importantes, como fixação da extensômetria, a primeira inicialização do *software* de coleta, é realizado também o zero do *strain gage*, basicamente levanta-se o carro e deixa suspensão sem nenhum peso, para que o *software* esteja zerado também, isso para identificar algum dado incomum.

4.14 PISTA DE TESTE

Para a coleta de dados foi levantado algumas informações da competição tentando simular o máximo a pista onde o veículo está em prova. Para isso foi desenhado um trajeto na avenida em frente à instituição da FAHOR, o circuito conta com curvas fechadas, curva do oito, reta para aceleração e frenagem, com o objetivo de descobrir os picos de força na suspensão. Na Figura 34 é detalhado o circuito executado pelo veículo durante o teste.

Figura 34 – Pista de teste



Fonte: Autor, 2022

4.15 TESTES DINÂMICOS

A análise dos testes dinâmicos tem como objetivo encontrar os esforços de picos. É desejado para o referente trabalho estes esforços, já que o resultado pode apontar diversas possibilidades de melhoramento no sistema do veículo que foi instrumentado. Os gráficos de frequência apresentados no estudo apontam os picos de esforços que se teve durante a execução de um teste em específico. Na estrutura dos gráficos índices positivos apresentam ganho de esforço de compressão, já índices negativos apresentam ganho de esforços de tração.

4.15.1 Teste Aceleração

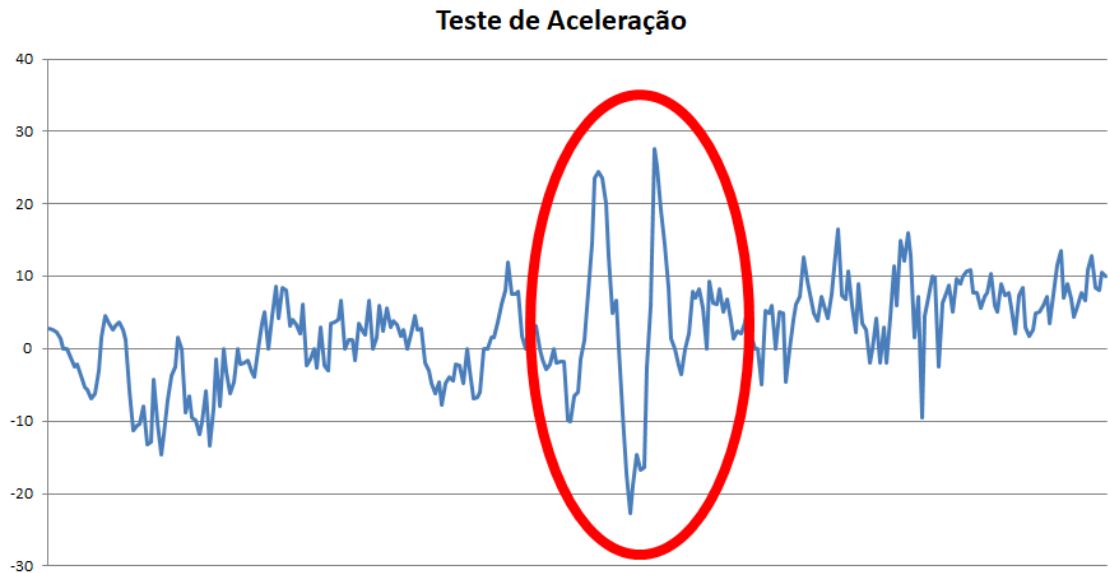
O primeiro teste realizado na pista foi levar o veículo a uma velocidade de 60 km/h em uma reta com o objetivo de identificar as forças geradas durante um simples deslocamento em linha reta.

O resultado desse teste importante para entender à dinâmica que o veículo trabalha durante um deslocamento em linha reta em uma rua pavimentada. é possível identificar na Figura 35, que durante o deslocamento se tem esforços do tipo compressão, caracterizados pelos picos positivos. Também é possível identificar alguns esforços de tração caracterizados pelos picos negativos no gráfico.

A principal análise nesse teste pode ser dar pelo pico de esforço ocasionado por um desnível na via, fazendo com que a suspensão do veículo sofresse esforços

verticais. Nesse pico circulado em vermelho na Figura 35, é possível identificar uma força de compressão de até 27,5 kg/f e um pico de força de tração de até 22 kg/f.

Figura 35 – Gráfico de frequência teste de aceleração.



Fonte: Autor, 2022

4.15.2 Teste Curva do 8

Com a intenção de simular cenários de competição o teste de curva 8 foi realizado de forma a descobrir as forças de entradas no veículo quando o mesmo é submetido a algumas curvas sinuosas, a velocidade do teste se manteve entrando na curva a 20km/h.

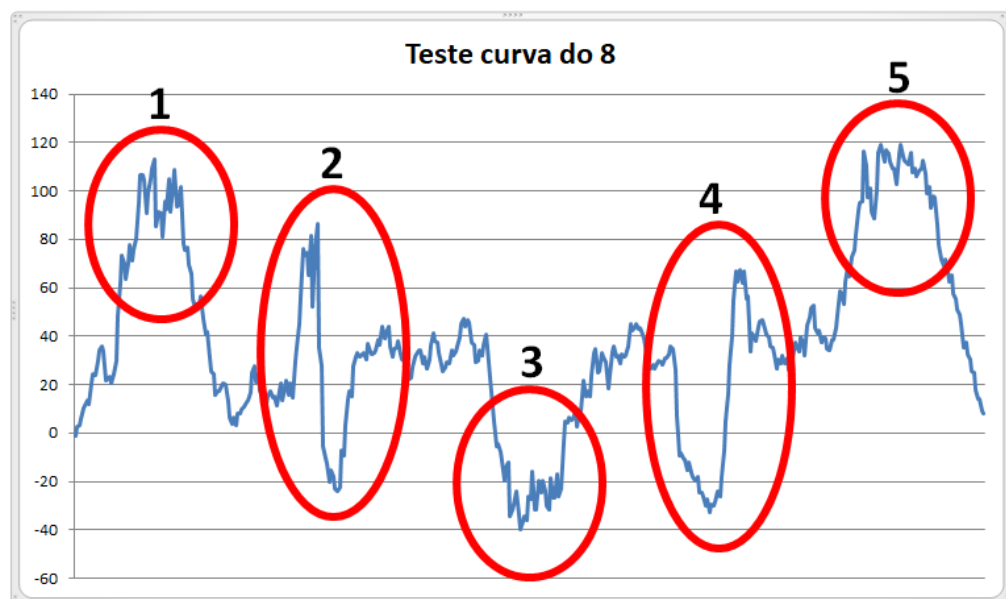
O teste apresentou resultados importantes, é possível identificar que houve diversos picos de esforços ocasionados pelas curvas fechadas, fazendo com que a suspensão do carro trabalhe-se com maior frequência.

O gráfico desse teste se divide em cinco áreas de ganho de pico. Conforme a Figura 36. A primeira área circulado em vermelho representa uma curva fechada realizada para a esquerda, é possível identificar que ouve somente picos de esforços de compressão nessa operação, isso devido ao peso do carro estar forçando para o lado da suspensão instrumentada, nessa curva a suspensão sofreu esforços de até 112 kg/f. A segunda parte circulado em vermelho no gráfico demonstra uma curva leve para a esquerda e logo uma curva leve para direita. É possível identificar esforços menores nessa operação, mas com uma variação no

gráfico de frequência de esforço de compressão de 86,5 kg/f para curva à esquerda. E um esforço de tração de até 24 kg/f na curva a direita.

Na terceira parte do gráfico, o carro realizou uma curva fechada para direita, foi identificado somente houve esforços de tração nessa operação, com picos de 39,8 kg/f. Na quarta parte em vermelho no gráfico é possível identificar a mesma característica que apresentou na segunda parte. Com uma curva leve para a direita a suspensão sofreu um esforço de tração de 32,7 kg/f, logo após uma curva leve para a esquerda teve-se um esforço de compressão de 67 kg/f. A última curva realizada nessa parte do teste, quinta parte em vermelho do gráfico, teve-se os maiores valores de pico em curvas, com uma curva fechada para a esquerda, obteve-se um esforço de compressão de até 119 kg/f.

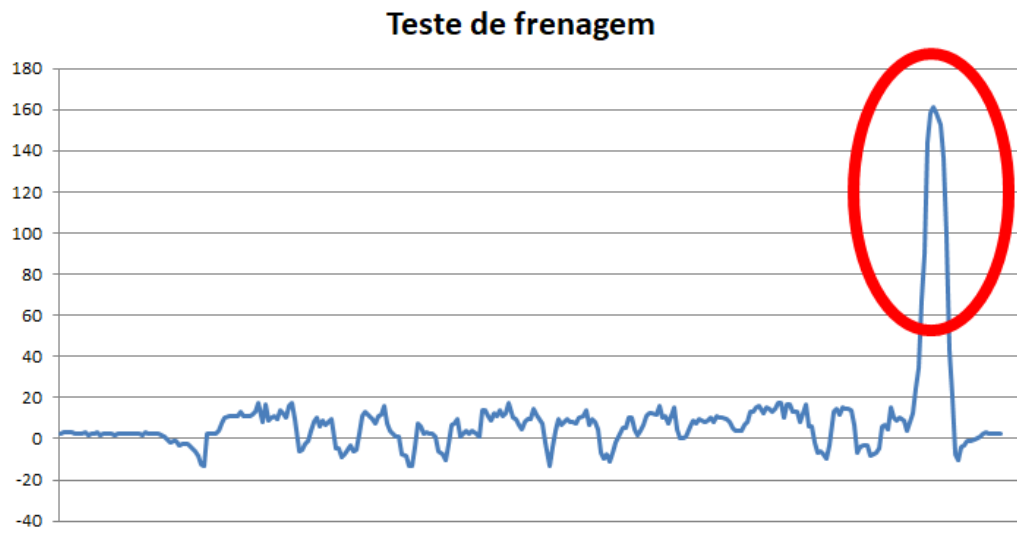
Figura 36- Gráfico de frequência do teste da curva do 8.



4.15.3 Teste de frenagem

O teste de frenagem se mostrou importante, pois ao realizar uma manobra de frenagem com o veículo o esforço gerado nas bandejas dianteiras foi mais devido a cinemática do veículo tendendo a parar bruscamente. Conforme a Figura 37 é demonstrada uma frequência normal durante o deslocamento em linha reta, porém quando o veículo freou bruscamente, o gráfico atingiu um pico de 161,3 kg/f, conforme está circulado em vermelho na Figura 37.

Figura 37 – Gráfico de frequência do teste de frenagem.



Fonte: Autor, 2022

CONCLUSÃO

Durante toda a execução desse trabalho, teve-se a busca constante pela aprendizagem, qualidade na coleta de dados, e o mais importante resolver um dos problemas de projeto da equipe FAHOR E-Racing, que era a falta de dados de entrada de força no veículo. Com isso teve-se a execução de todos os objetivos específicos do estudo conseguindo alcançar o objetivo geral.

O referente trabalho teve que primeiramente desenvolver uma metodologia bem embasada na literatura conhecida, para conseguir os melhores resultados nos testes de entrada de força no veículo a partir da suspensão. A metodologia utilizada nesse trabalho se mostrou muito importante para selecionar os melhores instrumentos, ferramentas e suprimentos para a coleta dos dados.

A execução da instrumentação na barra de suspensão seguiu todo o passo a passo citado no desenvolvimento, possibilitando no final dos testes um resultado adequado como o desejado, sem problemas, como falhas em *strain gages*, cabos elétricos soltos ou interferência, que poderiam ocasionar a perda do teste inteiro, ou ocasionar algum dado inadequado.

No geral a suspensão se comporta diferente em todas as condições expostas, a variação das forças aplicada nela são ocasionadas devido à dinâmica que o veículo está executando no momento, no final do estudo é possível identificar que na exposição de maior estresse para a suspensão, ela suportou um esforço vertical de 161,3 Kg/f no movimento de frenagem do veículo, um esforço muito maior que em outros momentos de atuação do veículo.

No final dos testes e da análise dos dados obtidos no circuito de testes, é possível observar vários fatores relevantes para um futuro projeto de suspensão ou até mesmo um chassi, esses dados são importantes para informar os cálculos do dimensionamento de um novo sistema para a equipe da FAHOR E-Racing.

REFERÊNCIAS

ANDOLFO, Rodrigo. CAMACHO, Jefferson. BRITO, Gilberto. **Extensometria básica**. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/extensometria-basica.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2022.

CAETANO, Ronaldo. **ATMEGA328**. [S. l.], 2022 Disponível em: <https://sites.google.com/site/ronaldoecaetano/microcontrolador/atmega328>. Acesso em: 9 abr. 2022.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Instrumentação industrial: conceitos, aplicações e análises**. 7. ed. rev. São Paulo: Érica, 2010. ISBN 978-85-365-0519-0. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536505190/pageid/4>. Acesso em: 9 abr. 2022.

WISNIEWSKI FILHO, Carlos. **Desenvolvimento de um sistema para medição e análise de esforços mecânicos em chassi tubular de um veículo**. 2018 Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/179412/001069032.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SAE BRASIL. **SAE BRASIL, 2022**. 2022. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/>. Acesso em: 8 abr. 2022.

GILLESPIE, Thomas D. **Fundamentals of vehicle dynamics**. Warrendale: Society of automotive engineers, inc., 1992. 470 p. Acesso em: 9 abr. 2022.

HBM . **Strain Measurement Basics**. [S. l.]: HBM, 2020. Disponível em: https://www.hbm.com/en/0014/strain-gauges/?product_type_no=HBM%20Strain%20Gauges:%20First%20Choice%20for%20Strain%20Measurements. Acesso em: 11 abr. 2022.

JAZAR, Reza N. **Vehicle Dynamics: Theory and application**. Riverdale: Springer, 2008. ISBN 978-0-387-74243-4. Disponível em: <https://geumotorsports.files.wordpress.com/2016/08/vehicle-dynamics-theory-and-applications.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2022.

LAURINDO, Ulisses F. **A aplicabilidade do software cad solidworks para desenvolvimento e obtenção de um produto pelos principais métodos de prototipagem rápida**, 2011. Disponível em: <file:///C:/Users/ander/Downloads/Ulisses%20Fernando%20Laurindo.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2022.

SILVA, Felipe. PAUPERIO, Carlos. JUNIOR, José. PIMENTEL, Lucas. **17º Congresso Nacional de iniciação científica**. Disponível em: <https://www.conic-semesp.org.br/anais/files/2017/trabalho-1000024407.pdf>. Acesso em: 27 Nov. 2022.

FREITAS, Luís. **Estudo da dinâmica vertical de uma suspensão veicular do tipo macpherson**. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-19012011-114031/publico/DissertacaoMestradoLuisMauro.pdf?> Acesso em: 27 Nov. 2022.